

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.01.017

预制装配式波形钢腹板组合小箱梁的研究及应用

马 磊, 徐 航, 苏 俭, 黄 虹

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 波形钢腹板组合小箱梁桥是一种新型钢—混凝土组合结构,采用波形钢板代替混凝土腹板或加劲平钢板。针对高架桥梁,提出了预制装配式波形钢腹板组合小箱梁设计方案,针对其进行经济技术分析,并结合上海市沿江通道西延伸(富长路~江杨北路)改建工程项目,进行了实际应用。通过研究及应用,表明该类型结构具有预应力效率高、结构各部分受力明确、施工速度快、综合造价低及造型美观等优点,值得进一步在高架桥梁中推广和应用。

关键词: 波形钢腹板;小箱梁;预制装配式;高架桥梁

中图分类号: U443.32

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)01-0064-03

0 引 言

目前高架桥梁中的预制拼装上部结构通常采用预制空心板梁、预制小箱梁、预制 T 梁、叠合梁、钢梁等。

预制空心板梁整体性及耐久性能稍差,且适用跨径小,一般不大于 25 m。预制小箱梁适用中小跨径,一般用于 25~35 m,其经济跨径一般为 30 m。预制 T 梁适用中等跨径,其跨越能力相对小箱梁大,一般为 30~45 m,但其横隔板数量多,景观效果差,施工繁琐。叠合梁、钢梁适用跨径大,范围广,但其造价高、后期养护费用工作量大。

本文提出预制装配式波形钢腹板组合小箱梁。相比于混凝土梁,采用波形钢腹板代替厚重的混凝土腹板,避免腹板开裂问题,减少梁体自重,适用跨径更大。相比于钢梁或叠合梁,造价低且现场无需进行钢结构焊接、安装桥面板等施工流程,后期养护工作量小。因此,预制装配式波形钢腹板组合小箱梁兼有混凝土梁经济性好、易于施工和钢结构重量轻、跨径大的优点,具有较好的发展前景。

因此,本文针对高架桥梁建设的特点,针对预制装配式波形钢腹板组合小箱梁设计方案,加以经济技术分析,并将设计方案应用于上海市沿江通道西延伸(富长路~江杨北路)改建工程。研究成果可为后续预制装配式波形钢腹板组合梁的设计提供参考。

1 技术经济综合分析

本节以桥宽 $B=32$ m、跨径 $L=45$ m 为例,针对叠合梁、T 梁、波形钢腹板组合小箱梁三种结构(见图 1~图 3)进行技术经济分析。

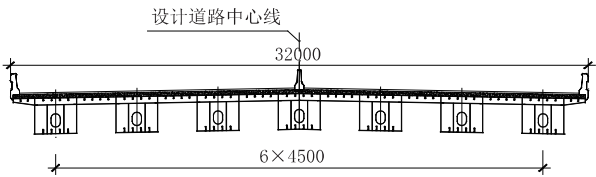


图 1 叠合梁断面布置(单位:mm)

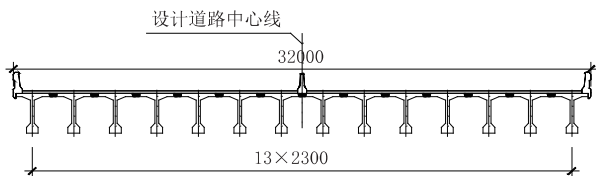


图 2 T 梁断面布置(单位:mm)

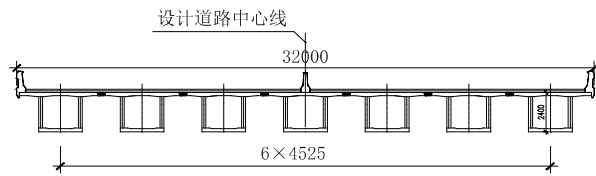


图 3 波形钢腹板梁断面布置(单位:mm)

叠合梁、T 梁、波形钢腹板组合小箱梁三种结构进行经济分析见表 1。

表 1 经济性比较分析

项目	叠合梁	T 梁	波形钢腹板梁
建安费/万元	1 377	1 041	1 034
每平方米建安费/(元·m ²)	9 563	7 231	7 179
造价比	1.33	1.01	1.00

由表 1 可见,相比常规组合梁,波形钢腹板组合小箱梁具有显著的经济性优势,其造价与 T 梁相当。

收稿日期: 2022-08-09

作者简介: 马磊(1961—),男,本科,教授级高级工程师,全国工程勘察设计大师,从事桥梁工程设计研究工作。

常规组合梁、T 梁、波形钢腹板组合小箱梁三种结构施工、景观、维保等分析见表 2。

表 2 施工、景观、维保比较分析

序号	结构型式	组合梁	T 梁	波形钢腹板梁
1	施工难易程度	较容易,可分段运输吊装,现场焊接拼装,对运输、吊装要求低	工厂整体预制,现场安装,安装过程需注意单片梁的倾覆。此外,横隔板多,现浇工作量较大,施工繁琐	工厂整体预制,现场安装,施工较方便,对运输、吊装设备要求较高
2	单片梁吊重	可分段,吊重小于 100 t	约 150 t	约 215 t
3	景观效果	较好	横隔板密布,景观效果较差	规律性波折腹板,通过涂装、灯光,景观效果好
4	后期养护工作量	钢结构养护工作量较大	小	较小。钢材用量少,且波形腹板无加劲,养护方便,工作量较小

由表 2 可见,相比常规组合梁,波形钢腹板组合小箱梁的吊重较大,对运输、吊装设备要求较高,但其景观效果好,后期养护工作量小。

相比 T 梁,施工安装方便,不存在单片 T 梁的倾覆问题;且横隔板少,现浇工作量少,施工速度快,景观效果好。

2 波形钢腹板小箱梁设计

结合上海市沿江通道西延伸(富长路~江杨北路)改建工程,针对预制装配式波形钢腹板组合小箱梁进行设计,如下文所示^[1]。

2.1 总体设计

预制装配式城市高架建设需要特别注意预制构件的尺寸大小,截面过大的构件会导致运输、吊装困难。因此控制预制的单片波形钢腹板小箱梁截面尺寸宽度不大于 4.5 m,高度不大于 3.0 m。通过工厂整体预制单片波形钢腹板组合小箱梁,运输至现场吊装,最后通过桥面板纵向接缝、横隔板连接成整体。本项目标准桥宽 $B=32$ m,共设置 7 片梁,见图 4。

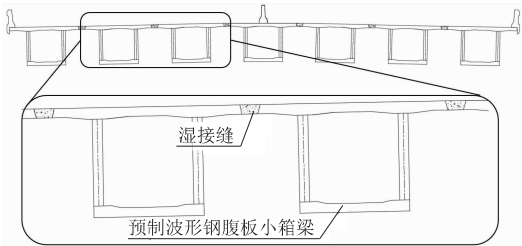


图 4 波形钢腹板组合小箱梁断面布置

2.2 波形钢腹板

波形钢腹板采用常用的 1600 型波形钢腹板,波长 $L=1.6$ m,波高 $H=0.22$ m,水平面板宽 $B=0.43$ m,水平折叠角度 30.7° ,弯折半径 $R=15t$ (t 为波形钢腹板厚度),见图 5。

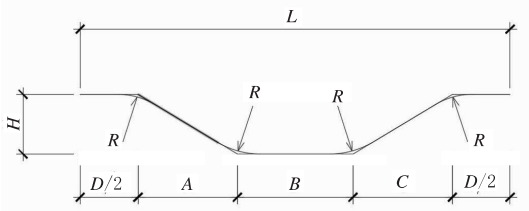


图 5 波形钢腹板大样图

波形钢腹板与混凝土顶板的连接采用焊接钢板+焊钉的连接方式,见图 6。

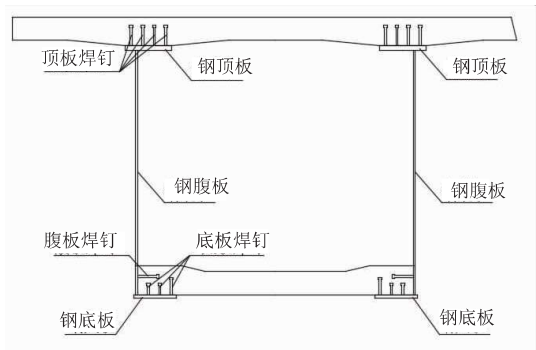


图 6 波形钢腹板与顶底板连接方式示意图

波形钢腹板与混凝土底板的连接采取钢底板外包的形式,将混凝土底板浇筑在钢底板之上,浇筑时既可利用钢底板作为模板支撑,也能确保连接节点位置的浇筑质量。

2.2 混凝土结构设计

波形钢腹板箱梁顶底板采用混凝土,顶、底板厚度 0.2 m,波形钢腹板位置加厚至 0.25 m。

跨中及 4 分点位置设置混凝土横隔板,其中 4 分点横隔板兼做体外束的专向块;跨中横隔板厚 30 cm,转向横隔板厚 50 cm。端横梁加厚至 1.25 m,以满足体外束的锚固受力需求。

端横梁附近 0.5 m 范围的波形钢腹板内侧设置内衬混凝土,改善端部波形钢腹板的抗剪稳定性。

波形钢腹板箱梁及相邻梁的顶板均纵向外挑 0.4 m,在盖梁上形成一个宽 0.8 m 的空间,用于后期体外束的养护更换,见图 7。

2.4 预应力体系

预应力采用体内体外混合配束,在底板内设置体内束,箱室内设置体外束,体外束在端部横梁锚固,跨中横隔板兼做体外束的专向块,见图 8。体外预应力体系是以“易安装、可检查、可维修、可更换”为出

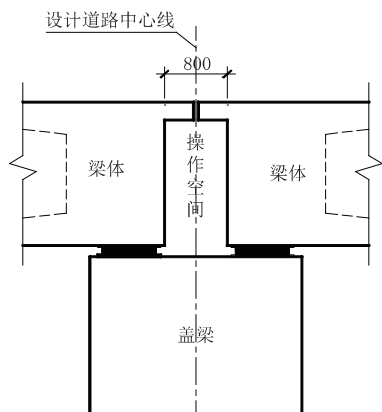


图7 体外束的养护更换空间布置图(单位:mm)

发点进行设计,采用的体外预应力体系具备有效的防腐措施,能够方便进行单根换束,能够对钢束进行多次张拉、补张拉等操作。

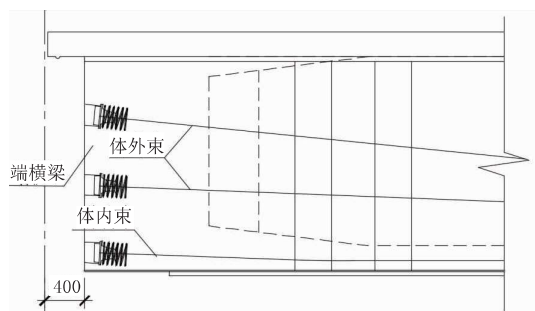


图8 体外束布置示意图

2.5 波形钢腹板组合小箱梁连接

波形钢腹板组合小箱梁在预制厂分片进行预制,再运输至现场进行拼装。各箱梁之间桥面板采用U形筋交错搭接的现浇湿接缝形式进行连接(见图9),现场无焊接工作量,施工简便快速。

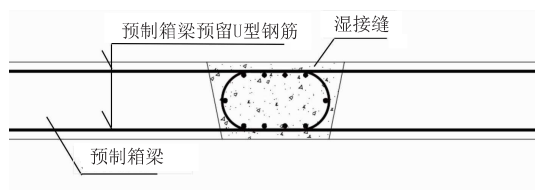


图9 桥面板接缝示意图

3 波形钢腹板小箱梁施工

预制装配式波形钢腹板组合小箱梁施工工序为:波形钢腹板制作→波形钢腹板底模铺设→波形钢腹板定位及焊接→底板、端横梁及中隔板制作→顶板制作→构件养护→预应力张拉→构件运输→现场架设→现场连接→二期铺装,见图10~图14。

4 结论

预制装配式波形钢腹板组合小箱梁兼有混凝土梁经济性好、易于施工和钢结构重量轻、跨径大的优点:



图10 波形钢腹板压制



图11 波形钢腹板成品

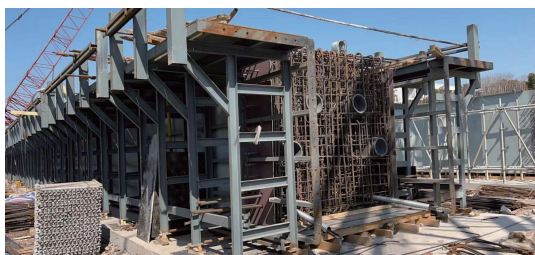


图12 波形钢腹板组合小箱梁预制施工



图13 波形钢腹板组合小箱梁现场吊装

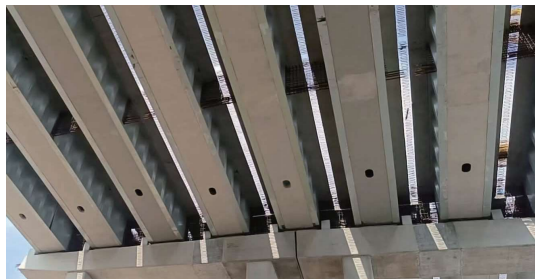


图14 波形钢腹板组合小箱梁安装就位

(1)在40~45 m跨径范围,波形钢腹板组合小箱梁相比叠合梁具有显著的经济性优势,其造价与T梁相当。

(2)波形钢腹板组合小箱梁的吊重相对较大,对运输、吊装设备要求较高,因此,受限于其运输、吊装,整体预制拼装时跨径不宜大于45 m。

(下转第72页)

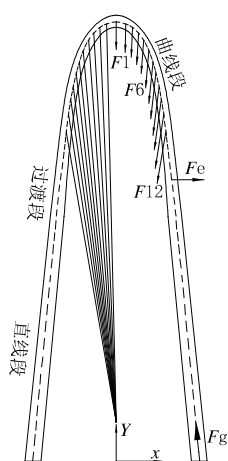


图 18 MHH bridge 拱轴线及受力示意图

影响桥面布置等问题,而致使其应用存在一定的限制,需要采取一定的措施改进;通过对比分析各种拱轴线发现,实际应用较多的椭圆形拱轴线是一种比较理想的拱轴线形。

(3)曲线+内倾直线段的轴线形式在受力方面存在不尽合理之处,需要采取措施解决受力不平衡的问题;曲线+外倾直线段的拱轴线形式也不失为一种可推荐的拱塔轴线形式。

拱塔斜拉以其优美的造型、千变的拱塔形式,在满足城市交通需求同时成为城市的地标建筑。随着对该类桥梁研究工作的深入和建设经验的积累,拱塔斜拉桥将不仅仅适用于城市的中、小跨桥梁,也必将公路、铁路等大跨度桥梁中得以应用。

参考文献:

- [1] MASAKI SHIOMI, YOSHIO NAKAMURA. Aesthetic Design of Haneda Sky Arch[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1996(1549):35-41
- [2] Klaus Idelberger. The world of footbridges—from the utilitarian to the Spectacular[M]. Ernst&Sohn GmbH& Co. KG, 2011
- [3] Scott Lomax, Charles E. Quade. Margaret Hunt Hill (Woodall Rodgers) Bridge[C]. Structures 2009: Don't Mess with Structural Engineers @ASCE, 2009. 164-173
- [4] Stefania Palaoro. Arch Bridge: design-construction - perception[D]. University of Trento, PHD, 2011
- [5] 张妮.巴西圣保罗一座拱形塔斜拉桥[J].世界桥梁,2021,49(4):118-119.
- [6] 王昕.沈阳三好斜拉桥主桥钢拱塔竖转施工技术[J].公路,2009(2):6-8
- [7] 张国泉,戴少雄.独塔斜拉桥钢混结合段应力分析[J].结构工程师,2007,23(3):26-30
- [8] Ma Wen-gang, Huang Qiao, Chen Xiao-qiang, Ren Yuan. Mechanical Performance Evaluation of a New Type of Cable-Stayed Beam-Arch Combination Bridge based on Field Tests[J]. 2012, 28(1):64-72
- [9] 马文刚.拱塔斜拉桥力学特性及若干问题研究[D].东南大学,2014.
- [10] 杨善红,徐宏光,梅应华,等.马鞍山长江大桥右汊主桥拱形塔斜拉桥设计创意[J].公路交通科技,2009,53(5):191-193
- [11] 张乃乐,李海泉.常益长铁路沅江特大桥(32+90+90+32)m 拱塔斜拉桥总体设计[J].铁道标准设计,2021,65(12):69-73.
- [12] 刘厚军,郑国富,陆勤丰.南京花山大桥主桥设计[J].桥梁建设,2020,50(S2):82-87.
- [13] 施洲,胡豪,蒲黔辉,等.高速铁路拱塔斜拉桥拱塔轴线优化求解[J].西南交通大学学报,2021,56(3):469-476.

(上接第 66 页)

(3)相比 T 梁,波形钢腹板组合小箱梁施工安装方便,不存在单片 T 梁的倾覆问题;且横隔梁少,现浇工作量少,施工速度快,景观效果好。

通过研究及应用,表明该类型结构具有预应力的效率高、结构各部分受力明确、施工速度快、综合造价低及造型美观等优点,值得进一步在高架桥梁中

推广和应用。

参考文献:

- [1] 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司.上海市沿江通道西延伸(富长路~江杨北路)改建工程施工图设计[Z].上海:上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2021.